

⑪ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :

2 818 739

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

⑫ N° d'enregistrement national :

00 16809

⑮ Int Cl⁷ : G 01 K 17/00, G 01 N 33/26

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑮ CAPTEUR, SYSTEME ET PROCEDE POUR CARACTERISATION D'UN MILIEU PAR
MESURE ACTIVE THERMIQUE, APPLICATION AU SUIVI DES HUILES DE FRITURE.

⑲ Date de dépôt : 21.12.00.

⑳ Priorité :

⑳ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

㉑ Demandeur(s) : *CENTRE DE COOPERATION
INTERNATIONALE EN RECHERCHE
AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
Etablissement public à caractère industriel et
commercial — FR.*

㉒ Inventeur(s) : VITRAC OLIVIER, WACK ANNE
LUCIE et TRYSTRAM GILLES.

㉓ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 28.06.02 Bulletin 02/26.

㉔ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 28.03.03 Bulletin 03/13.

㉕ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

㉖ Titulaire(s) :

㉗ Mandataire(s) : CABINET HARLE ET PHELIP.

FR 2 818 739 - B1



La présente invention concerne un capteur pour caractérisation d'un milieu par mesure active thermique. Elle permet de déterminer des caractéristiques statiques ou dynamiques d'un milieu fluide ou solide en soumettant ledit milieu à une interaction avec une source de chaleur. Elle permet, par exemple, de déterminer un coefficient d'échange convectif de chaleur, un débit, une viscosité, un changement de phase... Elle a, par exemple, des applications dans le suivi de la qualité des produits alimentaires. Un système mettant en oeuvre le capteur ainsi qu'un procédé de mise en oeuvre du système et l'application au suivi des huiles de friture sont également revendiqués.

Parmi les dispositifs utilisant la chaleur pour détermination des caractéristiques d'un milieu, par exemple le débit d'un fluide, on connaît les débitmètres comportant un élément chauffant. En général, l'élément chauffant est une résistance électrique et l'élévation de température est due à l'effet Joule. Le fluide étant en circulation, une partie de l'énergie thermique produite par la résistance est entraînée et la température de l'élément chauffant diminue suivant une fonction prédéterminée du débit et des caractéristiques du fluide. Il est ainsi possible de déterminer le débit du fluide en fonction de l'évolution de la température de l'élément chauffant. Dans d'autres dispositifs de ce type, on maintient la température de l'élément chauffant constante en faisant varier l'énergie envoyée audit élément et on détermine le débit en fonction de l'énergie nécessaire.

Pour mise en oeuvre de ces dispositifs, divers types de résistances chauffantes sont utilisables: fil en alliage métallique résistif, dépôt de couche résistive sur support... Il en est de même pour les moyens qui permettent de mesurer la température et qui sont en général électriques, par exemple, résistance à coefficient de température négative, jonction de semi-conducteur, thermocouples...

La présente invention propose un capteur qui comporte un élément chauffant, des moyens de mesure de la température et de flux thermique. Le capteur présente la particularité d'être

symétrique et il est constitué d'un empilement sandwich de trois feuillets, chacun des feuillets comportant un ou plusieurs des moyens de mesure sus mentionnés. Ainsi, la présente invention concerne un capteur pour caractérisation d'un milieu par mesure active thermique.

Selon l'invention, le capteur comporte assemblé sous forme d'une structure sandwich un empilement de feuillets, lesdits feuillets étant:

- un feuillet interne comportant au moins une résistance chauffante;

- un premier feuillet externe comportant un premier moyen de mesure de flux thermique et au moins un deuxième moyen de mesure de température associé audit premier moyen de mesure de flux thermique;

- un second feuillet externe comportant un second moyen de mesure de flux thermique et au moins un troisième moyen de mesure de température associé audit second moyen de mesure de flux thermique;

le feuillet interne étant disposé entre les premier et second feuillets externes;

et un revêtement conducteur thermique est disposé sur chacune de deux faces principales du premier feuillet externe et du second feuillet externe.

Dans divers modes de réalisation de l'invention, les moyens suivants, utilisés seuls ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles sont mis en oeuvre:

- le feuillet interne comporte en outre au moins un premier moyen de mesure de température,

- le deuxième moyen de mesure de température est disposé vers la face principale du premier feuillet externe orientée vers l'extérieur du capteur;

- le troisième moyen de mesure de température est disposé vers la face principale du second feuillet externe orientée vers l'extérieur du capteur;

- les moyens de mesure de température sont choisis parmi les thermocouples, les résistances température dépendantes, les semi-conducteurs, les fibres optiques à réseaux,
- le revêtement conducteur thermique est d'épaisseur
5 comprise entre 20 μm et 50 μm et est choisi parmi le cuivre, l'aluminium, leurs alliages,
- un film isolant électrique est disposé entre les éléments électriques et/ou électriquement conducteur du capteur,
- le film isolant électrique est du kapton® ,
- 10 - les éléments du capteur sont solidarisés entre eux par au moins un des moyens suivants: soudage, collage,
- les éléments du capteur sont solidarisés entre eux par au moins un des encapsulages suivants: céramique, ciment, résine,
- les feuillets sont plans et le capteur est plan,
- 15 - les feuillets sont contournés et le capteur est contourné,
- les feuillets sont courbés et le capteur est courbé, le rayon de courbure du capteur étant supérieur ou égal à 50 mm,
- le capteur mesure approximativement entre 5x5x1 mm et 50x50x2 mm,
- 20 - l'épaisseur du capteur est inférieure à 3 mm,
- le capteur est recouvert d'un revêtement en nitrure de bore de 0,05 à 0,1 mm,
- la résistance chauffante est du type film,
- les moyens de mesure de flux thermique sont du type film,
- 25 - les moyens de mesure de température sont du type film,
- la résistance chauffante a une valeur comprise entre 10 et 5000 Ohms et préférentiellement d'environ 20,6 Ohms,
- les moyens de mesure de flux thermique ont une sensibilité comprise entre 0,1 $\mu\text{V}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$ et 50 $\mu\text{V}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$ et
30 préférentiellement d'environ 1 à 2 $\mu\text{V}/(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$,
- les moyens de mesure de température sont des thermocouples,

L'invention concerne également un système de caractérisation d'un milieu par mesure active thermique avec un

capteur ayant une ou plusieurs des caractéristiques sus mentionnées.

Selon l'invention le système comporte en liaison avec le capteur:

5 - des moyens d'alimentation périodique de la résistance chauffante avec un courant pulsé ayant un temps τ de passage du courant sur une période de durée P avec $\tau < P$;

10 - des moyens de conditionnement et de conversion en données numériques de signaux en provenance des moyens de mesure de flux thermique et des moyens de mesure de température du capteur;

 - un moyen de calcul permettant au moins des calculs pour et sur les données numériques.

15 Dans divers modes de réalisation du système, les moyens suivants, utilisés seuls ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles, sont mis en oeuvre:

 - les moyens de conversion en données numériques sont synchronisés avec le courant d'alimentation périodique de la résistance afin de réduire le bruit de mesure,

20 - le moyen de calcul permet en outre le stockage des données et des résultats de calculs,

 - le moyen de calcul permet la détection de données et de résultats de calculs en fonction de seuils,

25 - le système comporte en outre un moyen de contrôle de l'alimentation de la résistance chauffante permettant de faire varier la forme et/ou l'amplitude du courant et/ou les durées τ et/ou P,

 - le système comporte des moyens permettant de contrôler l'alimentation en fonction des données numériques.

30 L'invention concerne aussi un procédé de caractérisation d'un milieu par mesure active thermique avec le système selon les caractéristiques précédentes combinées ou non et mettant en oeuvre le capteur selon les caractéristiques précédentes combinées ou non.

35 Selon l'invention de procédé on alimente périodiquement la résistance chauffante avec un courant pulsé ayant un temps τ de

passage du courant sur une période de durée P avec $\tau < P$, et on met en oeuvre une forme et/ou amplitude du courant et/ou des durées τ et/ou P pour qu'au moins un équilibre thermique à flux nul entre le capteur et le milieu soit atteint pendant une période de l'alimentation.

Dans divers modes de mise en oeuvre du procédé, les moyens suivants, utilisés seuls ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles sont mis en oeuvre:

- on atteint l'équilibre thermique à flux nul par la mise en oeuvre de durées τ et/ou P prédéfinies,

- on atteint l'équilibre thermique à flux nul par des mesure des températures dans les moyens de mesure de température et des mesures des flux thermiques dans les moyens de mesure de flux thermique, l'équilibre thermique à flux nul étant atteint lorsque, aux précisions des moyens de mesures près, les températures sont égales et les flux sont nuls;

- on calcule dans un moyen de calcul en liaison avec le capteur un coefficient d'échange convectif h_i par:

$$h_{i=1,2} = \frac{\int_t^{t+n\theta_m} \phi_i^{(r)} d\tau}{\int_t^{t+n\theta_m} \Delta T_i^{(r)} d\tau} = \frac{\int_t^{t+n\theta_m} \phi_i^{(r)} d\tau}{\int_t^{t+n\theta_m} T_i^{(r)} d\tau - \theta_m \sum_{j=1}^n \left[\int_{t+(j-1)\theta_m}^{t+j\theta_m} \left(\sum_{k=-[0/2]:[0/2]} L_k^{(r)} \cdot T_i^{t+(j+k-1)\theta_m} \right) d\tau \right]}$$

avec $i \in [1,2]$ correspondant respectivement au premier et au second feuillets externes et à leurs moyens de mesure de flux thermique et de mesure de température correspondants, h est ainsi obtenu à partir d'un bilan enthalpique à l'échelle du capteur en réponse à un échauffement périodique $\Delta T_i^{(i)}$ de puissance connue $\phi_i^{(i)}$. Sur une période du cycle θ_m , l'amplitude de la puissance de chauffe et la durée de refroidissement sont choisies de manière à permettre un retour à l'équilibre thermique du capteur, Cette condition, détectée par un flux de chaleur normal au capteur nul, permet d'obtenir la température locale du fluide à

partir du même capteur. Deux mesures du coefficient de h sont obtenues simultanément pour chacune des faces à partir de la relation précédente où n représente le nombre de périodes utilisées pour la mesure de h , $L_k^{(r)}$ est le coefficient des polynômes de Lagrange utilisés pour l'interpolation de la température du milieu
 5 lors d'un cycle de mesure, ϕ est le nombre de points de base pris en compte pour l'interpolation, généralement 3.],

- on calcule un coefficient d'échange convectif h_i par

$$10 \quad h_i = \frac{\int_{t_a}^{t_b} (\phi_i) dt}{\int_{t_a}^{t_b} (T_\infty - T_i) dt}$$

avec $i \in [1,2]$ correspondant respectivement au premier et au second feuillets externes et à leurs moyens de mesure de flux thermique et de mesure de température correspondants, T_∞ étant
 15 la température du milieu à l'équilibre thermique à flux nul, ϕ_i et T_i étant respectivement le flux thermique maximum et la température maximum,

- la température T_∞ est obtenue par l'une des méthodes suivantes: utilisation d'un résultat de mesure de température par
 20 l'un des moyens de mesure de température, moyennage des résultats des mesures de température par les moyens de mesure de température,

- on effectue des mesures périodiques des flux par les moyens de mesure de flux thermique et des températures par les
 25 moyens de mesure de température, la période de mesure étant de durée ν avec $\nu < P / 2$,

- on met en oeuvre une tension de forme d'onde rectangulaire, triangulaire ou sinusoïdale et on effectue au moins des premières mesures de flux et températures sensiblement à la
 30 fin du temps τ à titre de flux et températures maximales ϕ_i et T_i et des secondes mesures de flux et températures sensiblement à la

fin de la période P et avant le début du temps τ suivant à titre de température T_{∞} à l'équilibre thermique à flux nul,

- on met en oeuvre un courant de forme d'onde croissante jusqu'à un maximum, la vitesse de croissance de l'onde étant telle
- 5 que le capteur est sensiblement en régime stationnaire à chaque mesure, et en ce que l'on effectue au moins des premières mesures de flux et températures sensiblement au maximum de l'onde à titre de flux et températures maximales ϕ_i et T_i et des secondes mesures de flux et températures sensiblement à la fin de la période
- 10 P et avant le début du temps τ suivant à titre de température T_{∞} à l'équilibre thermique à flux nul,

[régime stationnaire signifie que les flux et températures sont en équilibre au sein du capteur et avec le milieu]

- pendant le temps τ de passage du courant, on met en
- 15 oeuvre un courant qui est une onde choisie parmi les fonctions sinusoïdale entière ou tronquée dans le temps, triangulaire symétrique ou non, rectangulaire, carrée,

- on provoque une élévation maximale de température du capteur comprise entre 1°C et 10°C par rapport à la température
- 20 du milieu, on provoque une élévation maximale de température du capteur d'environ 4°C , par rapport à la température du milieu,

- on détermine les caractéristiques du milieu, ledit milieu et le capteur étant en mouvement l'un par rapport à l'autre, en maintenant constante la température du capteur et en mesurant la
- 25 variation de courant nécessaire à ce maintien.

L'invention permet également l'application du procédé selon l'une ou plusieurs des caractéristiques précédentes pour le suivi de la qualité de produits alimentaires ou industriels pouvant se dégrader, l'évolution du coefficient d'échange convectif du produit

30 étant suivie au cours du temps.

L'invention permet également l'application du procédé selon l'une ou plusieurs des caractéristiques précédentes pour le suivi de la qualité des huiles de friture, l'évolution du coefficient d'échange convectif étant suivie au cours du temps.

Le capteur de l'invention est miniature et compact et est structuré pour présenter une inertie thermique réduite, l'équilibre des flux thermiques et températures en son sein et avec le milieu extérieur est donc obtenu rapidement. Les mesures effectuées
5 avec ce type de capteur peuvent donc être plus fréquentes qu'avec des capteurs présentant une plus grande inertie thermique. A titre d'exemple dans un milieu particulier, et pour un échauffement du capteur inférieur à 2 °C à chaque cycle, un cycle de mesure peut être inférieur à 1 seconde. Des mesures en continu ou quasi
10 continu pour suivi de milieux évoluant rapidement thermiquement peuvent donc également être réalisées grâce au capteur de l'invention.

Du fait de la petite taille du capteur, des cartes bi- ou tridimensionnelles précises de caractérisation thermique peuvent
15 être obtenues soit par déplacement dans le milieu d'un capteur ou de mesures en parallèles sur une ou des batteries de capteurs, éventuellement elles mêmes déplaçables. La caractérisation du milieu est aussi essentiellement locale.

Le capteur permet la caractérisation et le contrôle
20 d'écoulement (qualité, vitesse/débit massique), l'accès aux propriétés thermophysiques (coefficient d'échange convectif de chaleur, effusivité thermique, viscosité, conductibilité thermique), cela aussi bien dans des fluides que dans des solides, qu'ils soient poreux ou non. Les changements de phase, vaporisation, ébullition,
25 condensation, sublimation peuvent être déterminés à partir du coefficient d'échange convectif obtenu par mise en oeuvre du capteur. D'une manière générale, le capteur permet de déterminer l'aptitude des milieux fluides, liquides ou gazeux, ou solides, poreux ou non, à limiter l'échauffement du capteur ou, selon le cas,
30 à le refroidir.

La gamme d'utilisation du capteur est très large et monte jusqu'à 300 °C pour des pressions jusqu'à 30 bars et cela dans des milieux chimiquement agressifs, par exemple oxydants ou acides, ou non.

Le capteur peut également être mis en oeuvre pour déterminer la qualité instantanée ou évolutive de substances en mesurant des paramètres thermophysiques desdites substances. Par exemple dans un appareil de friture, en plus de l'éventuelle
5 régulation de la température du bain de friture, la qualité d'une huile de friture alimentaire peut être suivie par détermination de paramètres thermophysiques de ladite huile, par exemple par mesure du coefficient d'échange. Les fluides mis en oeuvre dans les appareillages industriels, huiles pour des moteurs, ammoniac
10 dans des appareils de froid, eau chaude/vapeur d'eau dans des centrales thermiques et/ou conduites, produits alimentaires.... peuvent également être caractérisés par mise en oeuvre du capteur de l'invention. En particulier il est possible de caractériser le type de vapeur, surchauffée ou saturante, par mesure du coefficient
15 d'échange convectif, chacun des types correspondant à des valeurs différentes du coefficient. Plus généralement, les milieux hétérogènes ou variables, par exemple brouillards ou vapeurs, peuvent également être caractérisés grâce au capteur et au procédé de l'invention.

20 Enfin, le capteur présentant une symétrie structurelle et fonctionnelle, une plus grande robustesse dans les mesures peut être obtenue. Des mesures différentielles entre les feuillets externes du capteur peuvent également être mises en oeuvre et, en particulier, dans le cas où il existe un déplacement relatif entre le
25 milieu et le capteur.

La présente invention, sans en être pour autant limitée, sera mieux comprise à la lecture de modes de mise en oeuvre qui sont maintenant décrits et où

la Figure 1 représente une vue latérale en perspective du capteur;
30

la Figure 2 l'évolution temporelle et schématique de l'amplitude du courant appliqué à la résistance chauffante,

la Figure 3 des exemples de formes d'ondes pour le courant de la résistance chauffante,

la Figure 4 des mesures de flux de chaleur d'une première application,

la Figure 5 des mesures d'échauffement d'une première application,

5 la Figure 6 des mesures de coefficient d'échange convectif d'une première application, et,

la Figure 7 des mesures de coefficient d'échange convectif pour différents écarts de température.

Le capteur 1 de la figure 1 vu latéralement est une structure
10 sandwich symétrique formée d'un empilement de 3 feuillets, un
feuillelet interne 3 et deux feuillets externes 2, 4. Le feuillelet interne 3
comporte un élément chauffant qui est une résistance chauffante
32 dont les fils d'alimentation sont reliés à une source électrique
non représentée ici. La résistance 32 peut être une résistance
15 unique ou un assemblage de résistances élémentaires en série
et/ou parallèle. On met en oeuvre de préférence une/des
résistances du type film afin de disposer d'un capteur d'épaisseur
réduite et donc atteignant la stabilité thermique dans toute son
épaisseur et volume le plus rapidement possible. Il est envisagé de
20 mettre en oeuvre une résistance chauffante dont la valeur reste
sensiblement constante dans la gamme de température de
fonctionnement du capteur ou qui varie en fonction de cette
température. Dans ce dernier cas, un moyen indirect de mesure de
température est alors disponible. Le feuillelet interne 3 comporte
25 également au moins un moyen de mesure de température 31
représenté ici sous forme d'un thermocouple. D'autres types de
moyens de mesure de la température sont toutefois envisagés.

Dans un autre mode de réalisation, l'élément chauffant et le
capteur de température sont un seul et même élément, par exemple
30 un élément de puissance semi-conducteur, transistor utilisé en
ballast, qui comporte associé des moyens de mesure thermique. Le
terme associé doit être compris aussi bien dans son sens matériel,
éléments semi-conducteurs associés, que fonctionnel, le transistor
étant utilisé en ballast et le courant de fuite d'une jonction qui est
35 fonction de la température étant mesuré. Ladite mesure peut, par

exemple, être obtenue par la mise en oeuvre d'un courant haché de fréquence élevée pendant le temps τ d'alimentation de la résistance électrique. Toutefois, un tel capteur est limité dans sa gamme d'utilisation en température par rapport à ceux utilisant des thermocouples et résistances classiques car les dispositifs à semi-conducteurs ne peuvent pas supporter des températures trop élevées.

Sur chacune des faces principales opposées du feuillet interne 3 sont disposés respectivement un premier feuillet externe 2 et un second feuillet externe 4. Les premier et second feuillets externes ont une structure semblable et comportent chacun au moins un moyen de mesure de température 21, 41 et au moins un moyen de mesure de flux thermique 23, 43. Le deuxième moyen de mesure de température est disposé vers la face principale du premier feuillet externe orientée vers l'extérieur du capteur et le troisième moyen de mesure de température est disposé vers la face principale du second feuillet externe orientée vers l'extérieur du capteur afin que les mesures de température avec lesdits deuxième et troisième moyens à flux nul correspondent à la température du milieu. Les moyens de mesure de température sont représentés sur la figure 1 sous forme de thermocouples mais d'autres types de moyens de mesure de température sont envisagés. Les moyens de mesure de flux thermique sont des éléments produisant une tension sensiblement proportionnelle au flux de chaleur les traversant. Ce sont des éléments à base de semi-conducteurs et/ou de composés ayant des propriétés thermoélectriques.

Chacun des feuillets externes 2 et 4 présente la particularité d'être recouverts d'un revêtement conducteur thermique 5 sur ses deux faces principales opposées. Ce revêtement permet d'assurer une meilleure homogénéisation de la température dans le capteur et facilite les échanges internes au capteur et avec le milieu extérieur. Le revêtement est de préférence une couche de cuivre d'épaisseur comprise entre 20 μm et 50 μm . On envisage également la mise en oeuvre d'autres métaux dont l'aluminium.

Au cas où il serait nécessaire d'isoler électriquement, dans la couche interne 3 et/ou dans les couches externes 2, 4, des éléments électriques mis en oeuvre, dont la résistance chauffante 32, les moyens de mesure de température 21, 31, 41, les moyens
5 de mesure de flux thermique 23, 43 et les revêtements conducteurs thermiques 5, un ou plusieurs films isolants électriquement peuvent être mis en oeuvre. On peut utiliser à cet effet du kapton® ou un matériau qui tout en étant électriquement isolant assure un passage satisfaisant de la chaleur.

10 Les divers éléments constituant les trois feuillets 2, 3, 4: résistance chauffante 32, moyens de mesure 21, 23, 31, 41, 43, revêtements conducteurs 5, film isolant électrique, sont assemblés entre eux par collage et/ou soudage. Le terme collage recouvre
15 aussi bien les colles classiques, par exemple résines époxy avec ou sans charges, colle polyuréthanne thermorésistante, que des produits du type ciment ou céramique. Un encapsulage général du capteur peut également être mis en oeuvre.

Sur la Figure 1, un seul moyen de mesure de température est mis en oeuvre par feuillet. En effet, le dispositif étant de taille
20 relativement réduite et compact, on considère qu'il n'existe pas d'inhomogénéité des températures dans le capteur. Toutefois, il est possible dans certaines configurations de mettre en oeuvre plusieurs moyens de mesure de température par feuillet si l'on désire augmenter la précision et/ou la sensibilité. Ces moyens sont
25 alors indépendants et/ou associées en série et/ou parallèle suivant le type. Comme indiqué précédemment, les thermocouples peuvent être remplacés par d'autres dispositifs et par exemple, résistance température dépendante, semi-conducteurs qui peuvent aussi être associés au sein d'un seul composant au moyen de mesure de flux
30 et/ou la résistance chauffante selon le cas. Dans un mode particulier, on peut remplacer les moyens de mesure de température électriques par des moyens optiques et par exemple par des fibres optiques présentant un réseau de diffraction du type Bragg. Dans ce type de dispositif, le réseau se déforme sous

contrainte thermique ce qui entraîne une modification de sa réponse en fréquence que l'on peut analyser.

Les fils de liaison électrique aux différents éléments du capteur sont isolés électriquement et permettent de véhiculer les signaux produits par les moyens de mesure de température 21, 31, 41 et de flux 23, 43 une chaîne de mesure ainsi que le courant destiné à chauffer la résistance 32 et provenant d'une source d'alimentation électrique. Du fait de la compacité du capteur, l'énergie nécessaire à l'échauffement de la résistance peut être relativement réduite et il est ainsi possible de mettre en oeuvre des fils de liaison de section réduite ayant un impact minime sur le milieu à analyser et sur le capteur lui-même. Dans un mode préféré de mise en oeuvre, les fils sont regroupés sur un même côté du capteur et forment une limande souple. A titre d'exemple, la limande comporte douze fils pour l'alimentation et les mesures. On envisage cependant que plus de fils puissent être mis en oeuvre en particulier au cas où des blindages ou anneaux de garde sont nécessaires. De même, on envisage que le nombre de fils soit réduit par utilisation d'une masse commune si les dispositifs d'amplification de la chaîne de mesure en aval du capteur le permettent.

Le capteur 1 ainsi décrit est réalisé sous forme d'un composant de taille réduite et, dans deux exemples de réalisation d'un capteur planaire ses dimensions sont 5x5x1,1 mm et 10x10x1,1 mm respectivement, ce qui est permet d'obtenir un capteur qui présente une inertie thermique très faible et atteint très rapidement un état stable ou stationnaire lorsqu'il est soumis à des variations de température du milieu et/ou que l'on échauffe sa résistance. De préférence et en général, l'épaisseur du capteur doit être au plus égale au 1/5 de la largeur ou diamètre du capteur afin de réduire le gradient tangentiel de température dans l'élément. Dans ces deux derniers exemples, deux micro-fluxmètres sont collés de part et d'autre d'un film chauffant avec une colle polyuréthane thermo-résistante jusqu'à 350°. Chaque micro-fluxmètre comporte également sur un substrat électriquement

isolant en mylar, kapton ou céramique un circuit bimétallique, déposé et/ou pressé et/ou gravé et/ou intégré dans l'épaisseur, faisant office de thermocouple et est recouvert sur ses deux faces principales par du métal faisant office de revêtement conducteur thermique. Le thermocouple est isolé électriquement du revêtement conducteur thermique. La réalisation des feuillets externes fait appel à des techniques de photogravure afin d'obtenir une miniaturisation, faible épaisseur, et le regroupement et l'acheminement des liaisons électriques vers un côté du capteur.

5

10 Pour le feuillet interne, la résistance chauffante du type film comporte également un circuit bimétallique déposé et/ou pressé et/ou gravé faisant office de thermocouple. Les microthermocouple plan de 0.1 μm d'épaisseur mis en oeuvre sont du type K ou T ou J, planaire 2 x 0,1 mm.

15 Afin de protéger le capteur de son environnement qui peut être agressif chimiquement et thermiquement, on dispose un revêtement à faible rugosité en nitrure de bore de 0,05 mm à 0,1 mm environ. Dans certaines applications où un rayonnement thermique pourrait perturber les mesures, par exemple pour des

20 fluides de faible densité, un revêtement externe de forte réflexivité est déposé sur le capteur.

Grâce à la mise en oeuvre de moyens d'épaisseur réduite, il est également possible de réaliser un capteur qui au lieu d'être plan soit cintré jusqu'à un rayon de courbure de 50 mm. Dans

25 certaines applications il est ainsi possible de réaliser un capteur qui soit adapté au milieu à caractérisé et en particulier dans le cas des milieux solides. De même, le capteur peut être carré, rectangulaire, circulaire ou toute autre forme adaptée. En particulier pour des capteurs destinés à être introduits dans des

30 milieux solides on réalise une forme lancéolée facilitant l'introduction dans le milieu.

La source d'alimentation électrique destinée à fournir le courant pour chauffer la résistance chauffante 32 peut être une source régulée en tension ou en courant ou encore les deux à la

35 fois suivant l'application et/ou le type de résistance mis en oeuvre.

La source peut être indépendante ou être contrôlée par les moyens de traitement analogique ou numérique associés au système de mesure afin de boucler le système de mesure. Des moyens de mesure indépendants du capteur peuvent également être mis en
5 oeuvre afin de suivre le fonctionnement de la source et, par exemple, par mesure de la tension et du courant alimentant la résistance chauffante. Le système de mesure peut alors directement suivre et contrôler l'énergie envoyée et/ou suivre indirectement la température de la résistance au cas où cette
10 dernière varie en fonction de la température.

Le capteur de l'invention peut être mis en oeuvre dans un système de mesure d'une manière cyclique consistant à chauffer de manière périodique la résistance chauffante 32. Le système de mesure comporte un moyen de calcul et des moyens d'acquisition
15 du signal. On a ainsi représenté figure 2 l'évolution au cours du temps du courant qui est envoyé dans la résistance chauffante. Le courant est périodique, chaque période durant un temps P et le temps de passage du courant dans la période étant τ .

Dans le procédé décrit ci-après, on laisse la résistance
20 chauffante au repos, sans courant la traversant, pendant un temps $P - \tau$ tel que le capteur revienne à un état d'équilibre thermique à flux nul. Un tel état correspond sensiblement, dans des conditions normales, c'est à dire en l'absence de turbulences et/ou d'écoulement pouvant entraîner des effets thermiques propres (par
25 exemple échauffement par "frottement" du fluide), à l'égalisation des températures dans le capteur et donc des moyens de mesure thermique et à l'absence de flux thermique. Dans un tel état, la température du milieu peut alors être mesurée. On peut également vérifier la qualité des moyens de mesure du capteur dans un tel
30 état par comparaison entre les résultats des mesures des différents moyens grâce au moyen de calcul du système. Une valeur trop éloignée des autres pour un thermocouple signifierait presque certainement un défaut. Des valeurs de correction pour chacun des moyens de mesure peuvent également être calculées par un moyen
35 de calcul. Ces valeurs de correction sont ensuite mises en oeuvre

dans le moyen de calcul pour la production des données de mesures. A l'équilibre à flux nul et en l'absence d'écart trop important entre les trois thermocouples, la moyenne des mesures peut servir de référence pour calculer les valeurs de correction à
5 mettre en oeuvre pour des mesures ultérieures. Les valeurs de correction et/ou un moyennage peuvent également être mis en oeuvre pour les moyens de mesure de flux thermique dans cet état. Le moyen de calcul est un microcontrôleur ou un circuit électronique dédié, ou un circuit générique de commande
10 acquisition contrôlée contrôlé par un ordinateur selon le type de l'application. Par exemple pour une friteuse, un simple microcontrôleur peut être mis en oeuvre à la fois pour la régulation et pour suivre la qualité de l'huile de friture par mesure et suivi au cours du temps du coefficient d'échange convectif h qui est de
15 préférence effectué pour une même température d'huile à chaque fois pour comparaison avec des valeurs précédentes. Dans ce dernier cas, un affichage simplifié du type "baragraphe" ou deux ou trois couleurs (vert = bon, jaune = moyen, rouge = à changer) peut être disposé sur la friteuse. Dans un système plus évolué un moyen
20 acoustique peut informer l'utilisateur de la qualité de l'huile. Dans d'autres applications, un micro-ordinateur peut être mis en oeuvre.

De même, la qualité d'un produit tel que caoutchouc ou le talex peut être déterminée. En effet, ce type de produit évoluant ou pouvant contenir plus ou moins d'eau présentera un coefficient
25 d'échange convectif différent.

La puissance électrique maximale que l'on dissipe dans le capteur pour les mesures est choisie afin de ne pas perturber le milieu, en général on provoque un échauffement du capteur dans le milieu jusqu'à une dizaine de degrés. En d'autres termes, l'écart de
30 température ou différence de température entre la température maximale du capteur correspondant à l'application du courant dans la résistance du capteur et la température du capteur à flux nul correspondant à un retour à l'équilibre du capteur avec le milieu après un temps suffisant suite à la coupure du courant, est
35 supérieur à 0° et inférieur à une dizaine de degrés. Cette

puissance dépend essentiellement de la puissance maximale admissible par le capteur, la capacité du milieu à dissiper la chaleur produite dans le capteur, de la surface du capteur, de la sensibilité et/ou de la résolution des moyens de mesure de
5 température et/ou de flux. On envisage ainsi lors d'une première mise en oeuvre du capteur dans un milieu et sous des conditions particulières, d'effectuer une série de mesures du coefficient d'échange convectif avec des puissances progressivement croissantes jusqu'à un maximum prédéterminé ou en fonction de
10 l'évolution des mesures afin de déterminer la zone d'écart de température dans laquelle les mesures sont significatives.

Ainsi, la Figure 7 donne des valeurs de coefficient d'échange convectif h pour trois températures d'un bain d'huile et pour des écarts de température croissants. Dans le cas de fluides
15 thermodilatables, l'utilisation d'une température à la surface du capteur significativement supérieure à la température du fluide est susceptible d'entraîner un écoulement secondaire par convection naturelle. En retour, cette perturbation peut modifier la valeur de h mesurée. La figure 7 présente l'effet de l'élévation de la
20 température de la surface du capteur dans une situation difficile : fluide thermodilatable (bain d'huile de 0.2 m de haut) en convection naturelle seule en contact par le haut avec l'air ambiant (25°C). Le capteur (5×5×1.1 mm) est en position verticale. Cette Figure montre qu'une mesure stable de h en convection naturelle
25 est obtenue pour des échauffements supérieurs à 4°C pour une gamme de température de l'huile comprise entre 140 et 180°C. Au-delà d'un écart de 7 à 8°C, le capteur devient lui-même un moteur de convection naturelle locale qui modifie fortement l'écoulement autour du capteur. L'addition d'huile colorée au voisinage du
30 capteur a montré, la création de rouleaux de convection de dimension très inférieure à ceux qui sont observés dans l'écoulement moyen (observé par la modification de l'indice de réfraction de l'huile). Dans le cas de suivi de la qualité de produits alimentaires pouvant se dégrader on effectue de préférence les
35 mesures du coefficient d'échange convectif h pour une même

température du milieu. Par exemple pour l'huile à 160° à chaque fois.

On constate donc que l'on doit appliquer une puissance suffisante à la résistance électrique du capteur pour obtenir des
5 mesures significatives. On constate également que lorsque l'écart de température devient trop important, les mesures ne sont plus significatives car le milieu est perturbé, un phénomène de convection pouvant alors être crée par l'élévation de température du capteur lors de l'application du courant. Ainsi, on peut disposer
10 d'une gamme d'écart de température et donc de puissance dans laquelle les mesures peuvent être effectuées. Selon les applications, mesure économique ou robuste on choisi la puissance minimum ou la puissance médiane permettant une mesure significative. Suivant le milieu, on choisi en pratique des écarts
15 compris entre 2° et 6°.

Lors d'une première mise en oeuvre correspondant par exemple à un changement du milieu, on peut également effectuer un étalonnage du capteur. Le zéro des fluxmètres est vérifié après un temps suffisant pour obtenir l'équilibre thermique pour un
20 courant de résistance nul: les trois capteurs de température donnant des résultats identiques aux précisions et éventuelles corrections près. Le gain des fluxmètres est ajusté par la corrélation entre la tension d'étalonnage utilisée pour l'excitation du capteur en régime permanent et les tensions des fluxmètres. La
25 symétrie de construction du capteur permet en outre de vérifier rapidement la dérive d'un des moyens de mesure dans des conditions d'échauffement et/ou refroidissement symétriques sur les deux faces principales du capteur.

Cet étalonnage permet également de calculer des valeurs de
30 correction de mesures. Ultérieurement, lors de l'application du courant périodique, l'état d'équilibre thermique à flux nul (et à courant nul) peut être déterminé par mesure, les thermocouples donnant, aux précisions et corrections près, la même valeur de température et les flux étant nuls. La détermination de cet état
35 permet d'optimiser le fonctionnement du système de mesure et sa

résolution temporelle en réduisant la durée P à un minimum. Toutefois, dans un mode moins évolué, on peut simplement mettre en oeuvre un temps $P - \tau$ prédéfini suffisamment important pour que l'état d'équilibre à flux nul soit atteint dans toute la gamme de mesure. La durée P dans le cas où elle est optimisée peut également permettre l'accès aux caractéristiques du milieu car elle est alors par exemple fonction du débit d'un fluide dans lequel est placé le capteur. La durée τ et/ou l'amplitude et la forme du courant peuvent également être modifiés en relation ou indépendamment de P afin, à titre d'exemple, de maintenir constante l'énergie par période ou la puissance envoyée dans la résistance chauffante.

D'autres formes d'ondes d'intensité pour alimentation de la résistance sont représentées sur la figure 3. En (a) un courant alternatif sinusoïdal est haché par un dispositif du type thyristor. En (b) et (c) un courant en dents de scie est mis en oeuvre. En (c) des demi sinusoïdes sont envoyées dans la résistance. Dans un mode préféré de mise en oeuvre on synchronise les mesures en fonction de l'évolution du courant afin de limiter le bruit des mesures et, par exemple, on évite de faire une mesure lors de l'application brusque du courant. Il est également possible de limiter le temps de montée et de descente du courant appliqué à la résistance afin de réduire les phénomènes d'induction pouvant également perturber les mesures.

Dans le cas où l'on détermine un coefficient d'échange convectif, on effectue une mesure lorsque les flux thermiques sont maximum dans le capteur lors du passage du courant et lorsque le flux est nul à courant nul, c'est à dire à l'équilibre thermique. Ce maximum peut être déterminé par des mesures répétitives rapprochées et la recherche du point maximum correspondant de la courbe de mesure. Il est également possible d'estimer le moment du maximum en fonction de la forme de l'onde de courant alimentant la résistance. Ainsi dans le cas de la courbe (b) de la figure 3, le maximum des flux correspond sensiblement au maximum du courant. Dans le cas où l'alimentation est contrôlée

et/ou également mesurée par le système de calcul chargé des mesures il est ainsi possible de limiter le nombre de mesures par période au strict minimum nécessaire et, sur la figure 3 courbe (b), sensiblement au maximum du courant (M) puis juste avant (M')

- 5 l'application du courant lors de l'état d'équilibre thermique à flux nul et courant nul pour obtenir les valeurs nécessaires au calcul du coefficient d'échange convectif h_i , avec $i = 1, 2$ correspondant aux deux faces du capteur et avec

$$10 \quad h_i = \frac{\int_{t_a}^{t_b} (\phi_i) dt}{\int_{t_a}^{t_b} (T_\infty - T_i) dt}$$

- Dans cette formule, T_∞ est la température du milieu à l'équilibre thermique à flux nul, ladite température étant obtenue par l'une des méthodes suivantes: utilisation d'un résultat de
15 mesure de température par l'un des moyens de mesure de température, moyennage des résultats des mesures de température par les moyens de mesure de température; ϕ_i et T_i sont respectivement le flux thermique maximum et la température maximum.

- 20 Préférentiellement on calcule h_i , directement et/ou par interpolation, une formule intégrale incluant ou non une interpolation de la mesure du milieu extérieur entre deux retours à la condition flux nul dans le capteur:

$$25 \quad h_{i=1,2} = \frac{\int_t^{t+n\theta_m} \phi_i(\tau) d\tau}{\int_t^{t+n\theta_m} \Delta T_i(\tau) d\tau} = \frac{\int_t^{t+n\theta_m} \phi_i(\tau) d\tau}{\int_t^{t+n\theta_m} T_i(\tau) d\tau - \theta_m \sum_{j=1}^n \left[\int_{t+(j-1)\theta_m}^{t+j\theta_m} \left(\sum_{k=-[0/2]}^{[0/2]} L_k^{(r)} \cdot T_i^{t+(j+k-1)\theta_m} \right) d\tau \right]}$$

avec $i \in [1,2]$ correspondant respectivement au premier et au second feuillets externes et à leurs moyens de mesure de flux thermique et de mesure de température correspondants,

h est ainsi obtenue à partir d'un bilan enthalpique à l'échelle du capteur en réponse à un échauffement périodique ($\Delta T_i^{(t)}$) de puissance connue ($\phi_i^{(t)}$). Sur une période du cycle (θ_m), l'amplitude de la puissance de chauffe et la durée de refroidissement sont choisies de manière à permettre un retour à l'équilibre thermique du capteur. Cette condition, détectée par un flux de chaleur normal au capteur nul, permet d'obtenir la température locale du fluide à partir du même capteur. Deux mesures du coefficient de h sont obtenues simultanément pour chacune des faces à partir de la relation précédente où n représente le nombre de périodes utilisées pour la mesure de h, $L_k^{(r)}$ est le coefficient des polynômes de Lagrange utilisés pour l'interpolation de la température du milieu lors d'un cycle de mesure, σ est le nombre de points de base pris en compte pour l'interpolation (généralement 3).

Dans un système électronique comportant des moyens de calcul, h_i est préférentiellement calculé numériquement. Toutefois, les opérations précédentes d'intégration et de division peuvent également être réalisées par des moyens électroniques analogiques mettant en oeuvre des amplificateurs opérationnels. Les moyens de calcul numérique et les moyens analogiques peuvent également être combinés dans un même système.

A titre d'exemple de mesures avec application de courant périodique pour un capteur placé dans un bain d'huile à 160° C, les courbes de la Figure 4 donnent les valeurs de flux mesurées sur plusieurs périodes de mesure au cours du temps. Les courbes de la Figure 5 donnent les valeurs de température mesurées sur plusieurs périodes de mesure au cours du temps. Les courbes de la Figure 6 donnent les valeurs du coefficient d'échange convectif h mesurées et calculées au cours du temps. On constate qu'il est nécessaire d'effectuer des mesures sur plusieurs cycles afin d'obtenir un résultat cohérent. Sur chacune de ces figures, les deux courbes correspondent à des niveaux d'intensité et de durée

de cycle de mesure de rapport deux et pour un nombre suffisant de cycles de mesures, la valeur du coefficient d'échange convectif devient constant.

Le choix du point de fonctionnement est effectué selon les principes suivants. Une mesure instationnaire du coefficient h est obtenue en retenant le cycle qui réalise le compromis suivant :

- i) minimisation de la durée totale d'une mesure : $n \cdot \theta_m$;
- ii) échauffement significatif pour être mesuré à l'aide d'un thermocouple;
- 10 iii) minimisation de l'hystérésis lors d'un cycle de mesure;
- iv) minimisation des modifications du régime d'écoulement au voisinage du matériau.

La condition iv) se traduit en convection naturelle par une minimisation de l'échauffement de la surface du capteur. En convection forcée, cette condition se traduit par une orientation du capteur le long des lignes du courant. La mesure de l'échauffement du capteur a peu ou pas d'effet dans ce dernier cas sur la mesure. La symétrie des deux mesures réalisées par le capteur permet en particulier de s'assurer du faible caractère intrusif du capteur.

Dans un système de mesure mettant en oeuvre le capteur on associe un micro-ordinateur, une carte de conditionnement, d'acquisition et de conversion analogique - numérique. Les valeurs mesurées, traitées enregistrées sous forme de données peuvent être affichées sur le micro-ordinateur et des détections de seuils et alertes programmées. Dans un système plus évolué, des moyens de mesure et/ou de contrôle de la source d'alimentation électrique de la résistance chauffante peuvent également être mis en oeuvre. Ainsi, le système de mesure incorporant le capteur peut être ouvert ou fermé, un rétrocontrôle sur la source d'alimentation en fonction des mesures sur le capteur étant alors mis en oeuvre. Le moyen de contrôle de l'alimentation est, par exemple, une carte de conversion numérique analogique commandée par le micro-ordinateur et reliée à une interface de puissance.

Grâce à la mise en oeuvre par courant périodique, on peut, par exemple, déterminer des propriétés d'écoulement d'un milieu, à partir des pentes entre deux mesures à partir d'un cycle ou d'un demi cycle de mesure correspondant à un échauffement et/ou refroidissement ou inversement selon le cas. On peut également parvenir à ces propriétés par le rapport des surfaces de courbes énergétiques (rapport entre énergie fournie et accumulée) pour plusieurs cycles d'échauffements, refroidissements afin d'augmenter la robustesse de la méthode. Des procédés de moyennage des mesures individuelles ou d'autres traitements statistiques connus peuvent être mis en oeuvre. La mise en oeuvre cyclique permet également de vérifier régulièrement l'étalonnage du système de mesure et du capteur (en cas de mesure asymétrique alors que le capteur et l'environnement statique devrait être en équilibre). La mesure est robuste car c'est la capacité du milieu à refroidir le capteur basée sur le rapport des intégrales (sommation) des signaux de flux et des signaux d'élévation de température dans le capteur qui est utilisé. Elle est également robuste car indépendante de l'impulsion électrique utilisée (période et amplitude), la période de mesure doit cependant être supérieure à la durée totale de la perturbation électrique de manière à permettre le retour à l'équilibre thermique du capteur avec le milieu environnant. De même, l'écart de température dans le capteur est évalué à l'aide du même thermocouple (précision de 0.1°C); en effet, en l'absence de flux de chaleur normal au capteur, le capteur donne également la température du fluide. La mesure est robuste car systématiquement doublée du fait de la symétrie du capteur. La mesure robuste car quatre plans de cuivre (entre chacune des 3 feuilles) sont utilisés pour homogénéiser l'échauffement dans le plan du capteur (quasi absence de gradient de température tangentiel). La mesure est robuste car la dérive des flux-mètres est détectable par comparaison des échauffements du capteur en surface et à cœur. Enfin, le capteur est auto-étalonnable en conditions de convection

naturelle dans l'eau, l'huile ou l'air ; l'étalonnage en convection forcée nécessite de connaître la vitesse et le régime d'écoulement. Le capteur est multi-fluides, un même capteur peut être utilisé pour des gaz et des liquides (dans le cas de gaz, soit la période de mesure est allongée, soit la période et l'amplitude de l'impulsion électrique sont réduits). Le capteur peut être également utilisé dans des solides soit seul ou combiné avec un fluxmètre plan (de section supérieure au premier capteur si possible) ; dans cette dernière configuration le présent capteur est utilisé comme émetteur d'une perturbation thermique connue et le flux-mètre comme récepteur. La configuration combinée avec un fluxmètre peut être également utilisée dans des liquides pour obtenir une mesure directe d'un débit massique.

Le capteur peut être utilisé pour la caractérisation intrusive de matériaux capillo-poreux ou d'origine biologique. Le capteur est alors introduit :

- en force (ex. fruits et légumes, caoutchouc naturel...)
- après un pré-perçage (ex. bois).

Les propriétés thermophysiques sont obtenues à partir de la réponse de la température de surface à un échelon périodique de chauffe du capteur. Le matériau se comporte dans ce cas comme un milieu semi-infini, deux mesures symétriques de l'effusivité apparente du matériau $\sqrt{k \cdot \rho \cdot Cp}$ sont obtenues à partir de la mesure du flux de chaleur et de l'échauffement des deux surfaces du capteur. En effet, en réponse à un temps court, la solution de l'équation de diffusion de la chaleur écrite pour un flux à la paroi imposé, s'écrit :

$$T_i^{(t)} \xrightarrow{t \rightarrow 0} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\phi_i^{(t)}}{\sqrt{k \cdot \rho \cdot Cp}} \sqrt{t}$$

où k , ρ Cp son respectivement la conductibilité thermique, la masse volumique et la capacité calorifique apparentes du matériau.

La mesure de la conductibilité thermique requiert dans ce cas la connaissance de ρ et Cp . La première inconnue ρ est généralement mesurable par gravimétrie. La seconde inconnue

peut être calculée théoriquement en la supposant égale à la moyenne pondérée des corps purs qui composent le matériau.

Les vitesses d'écoulement ou les propriétés thermophysiques dans des milieux capillo-poreux peuvent être déterminées en utilisant le capteur présenté comme source de chaleur locale d'intensité périodique connue. Un deuxième fluxmètre parallèle au premier capteur est alors utilisé pour former un canal dans lequel le flux de chaleur perpendiculaire à l'écoulement, dont à chercher à déterminer la vitesse/débit, sera mesuré.

Le capteur peut être utilisé seul ou avec d'autres dispositifs thermiques. Par exemple dans un milieu poreux, il est envisagé la mise en oeuvre d'une source thermique d'intensité périodique connue, et à distance du capteur, la chaleur produite véhiculée par le milieu statique ou dynamique étant mesurée par le capteur.

En conclusion: deux gammes d'application peuvent être envisagées par le capteur proposé suivant qu'elles s'intéressent:

- à une propriété physique directement corrélée au coefficient d'échange convectif (h) dans un fluide ou à l'effusivité thermique (e) dans un solide;
- à une propriété indirectement corrélée à h ou e .

Applications directes de la mesure:

- débitmètre, vitesse d'écoulement, coefficient d'échange convectif de chaleur;
- modification des propriétés physiques de fluides: masse volumique, viscosité, dilatabilité thermique;
- détection d'un changement de phase: vaporisation ou ébullition / condensation / sublimation.

Applications indirectes de la mesure:

- vieillissement des huiles de fritures, huiles de moteur;
- caractérisation (composition) de mélanges diphasiques: brouillard, émulsions, mélange liquide-vapeur;
- suivi de réactions chimiques (polymérisation ...), d'extractions ...;
- suivi des propriétés rhéologiques de milieux pâteux (peintures, empois ...);

- mesure du taux d'encrassement de canalisations ou membranes ... ;
 - cartographie rapide d'écoulement pour la détermination de temps de séjour par exemple;
- 5 - teneur en eau de milieux capillo-poreux ou vitesse d'écoulement dans ces mêmes milieux.

REVENDEICATIONS

1. Capteur (1) pour caractérisation d'un milieu par mesure active thermique caractérisé en ce qu'il comporte assemblé sous forme d'une structure sandwich un empilement de feuillets, lesdits
5 feuillets étant:
- un feuillet interne (3) comportant au moins une résistance chauffante;
 - un premier feuillet externe (2) comportant un premier moyen de mesure de flux thermique (23) et au moins un deuxième moyen de mesure de température (21) associé audit premier moyen de mesure de flux thermique;
 - un second feuillet externe (4) comportant un second moyen de mesure de flux thermique (43) et au moins un troisième moyen de mesure de température (41) associé audit second moyen de mesure de flux thermique;
- 15 le feuillet interne (3) étant disposé entre les premier(12) et second (4) feuillets externes;
- et un revêtement conducteur thermique (5) est disposé sur chacune de deux faces principales du premier feuillet externe et du second
20 feuillet externe.
2. Capteur selon la revendication 1 caractérisé en ce que le feuillet interne (3) comporte en outre au moins un premier moyen de mesure de température (31).
3. Capteur selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce
25 que les moyens de mesure de température sont choisis parmi les thermocouples, les résistances température dépendantes, les semi-conducteurs, les fibres optiques à réseaux.
4. Capteur selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le revêtement conducteur thermique (5) est d'épaisseur comprise entre 20 μm et 50 μm et est
30 choisi parmi le cuivre, l'aluminium, leurs alliages.
5. Capteur selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'un film isolant électrique est disposé entre les éléments électriques et/ou conducteurs
35 électriquement du capteur.

6. Système de caractérisation d'un milieu par mesure active thermique avec le capteur de l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que qu'il comporte en liaison avec le capteur:

- 5 - des moyens d'alimentation périodique de la résistance chauffante (32) avec un courant pulsé ayant un temps τ de passage du courant sur une période de durée P avec $\tau < P$;
- des moyens de conditionnement et de conversion en données numériques de signaux en provenance des moyens de
- 10 mesure de flux thermique (23, 43) et des moyens de mesure de température (31, 21, 41) du capteur;
- un moyen de calcul permettant au moins des calculs pour et sur les données numériques.

7. Système selon la revendication 6 caractérisé en ce qu'il

15 comporte en outre un moyen de contrôle de l'alimentation de la résistance chauffante permettant de faire varier la forme et/ou l'amplitude du courant et/ou les durées τ et/ou P .

8. Procédé de caractérisation d'un milieu par mesure active thermique mettant en oeuvre le capteur de l'une des revendications

20 1 à 5, caractérisé en ce que l'on alimente périodiquement la résistance chauffante (32) avec un courant pulsé ayant un temps τ de passage du courant sur une période de durée P avec $\tau < P$, et en ce que l'on met en oeuvre une forme et/ou amplitude du courant et/ou des durées τ et/ou P pour qu'au moins un équilibre thermique

25 à flux nul entre le capteur et le milieu soit atteint pendant une période de l'alimentation.

9. Procédé selon la revendication 8 caractérisé en ce que l'on calcule dans un moyen de calcul en liaison avec le capteur un

30 coefficient d'échange convectif h_i par:

$$h_{i=1,2} = \frac{\int_t^{t+n\theta_m} \phi_i(\tau) d\tau}{\int_t^{t+n\theta_m} \Delta T_i(\tau) d\tau} = \frac{\int_t^{t+n\theta_m} \phi_i(\tau) d\tau}{\int_t^{t+n\theta_m} T_i(\tau) d\tau - \theta_m \sum_{j=1}^n \left[\int_{t+(j-1)\theta_m}^{t+j\theta_m} \left(\sum_{k=-[0/2]}^{[0/2]} L_k(\tau) \cdot T_i^{t+(j+k-1)\theta_m} \right) d\tau \right]}$$

avec $i \in [1,2]$ correspondant respectivement au premier et au second feuillets externes et à leurs moyens de mesure de flux thermique et de mesure de température correspondants.

- 5 10. Application du procédé selon la revendication 9 pour le suivi de la qualité des huiles de friture, l'évolution du coefficient d'échange convectif étant suivie au cours du temps.

1/4

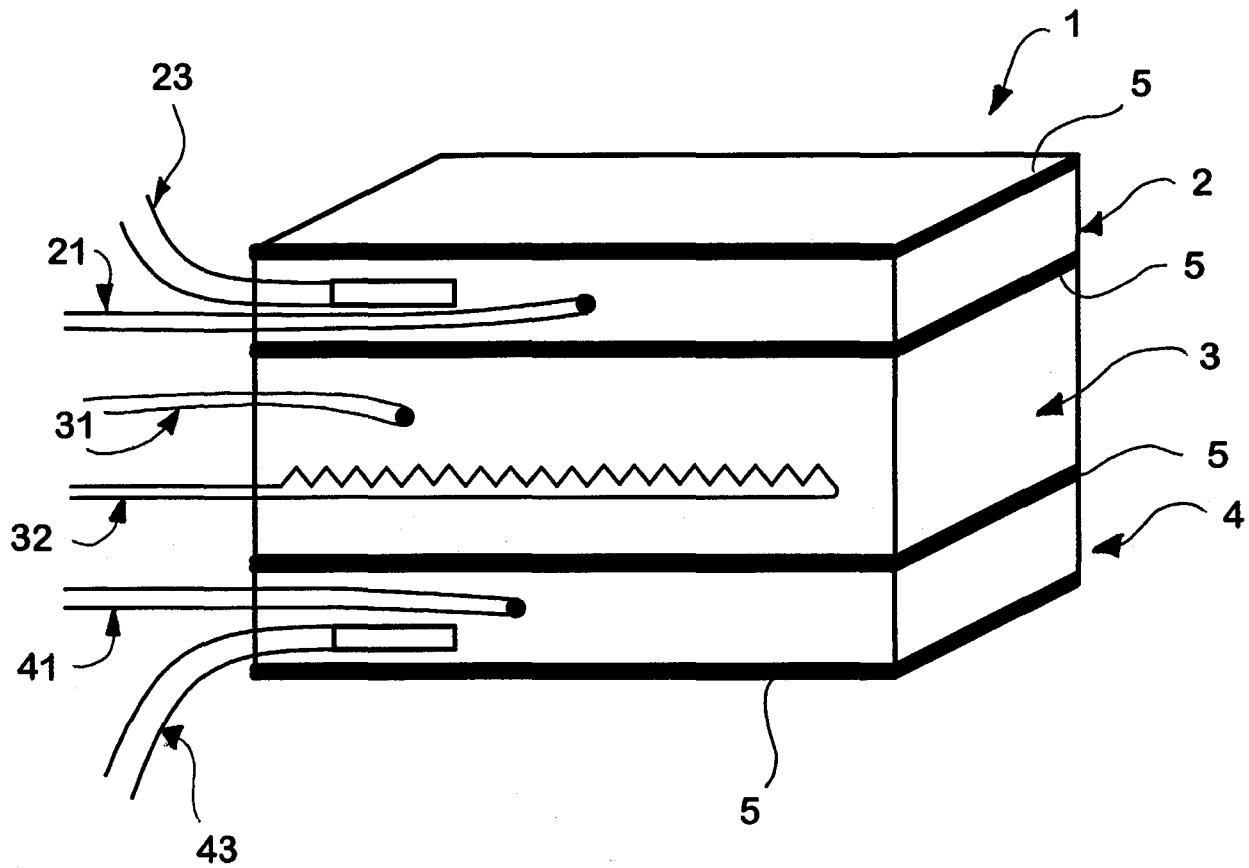


FIGURE 1

2/4

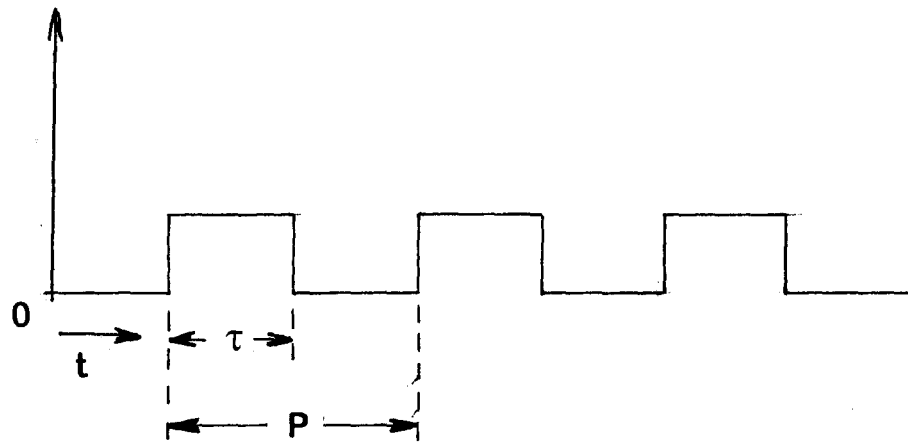


FIGURE 2

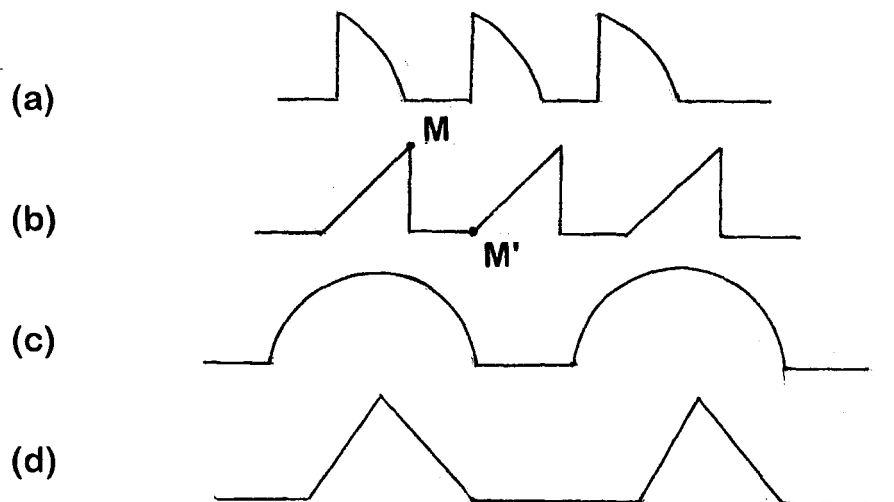


FIGURE 3

3/4

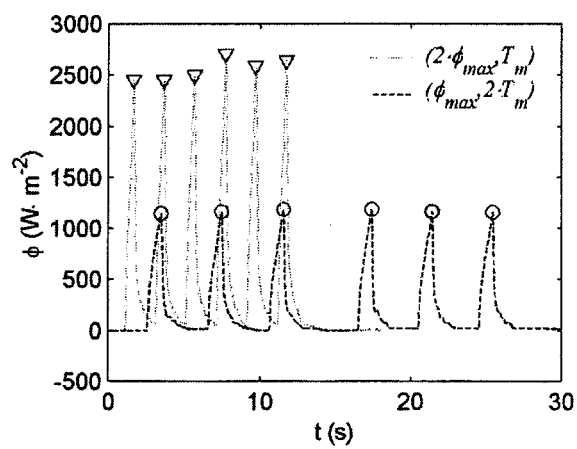


FIGURE 4

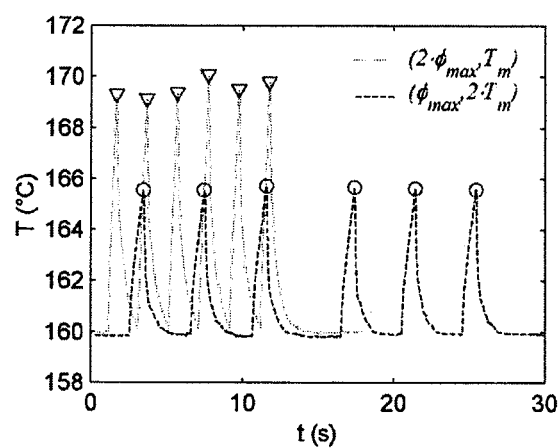


FIGURE 5

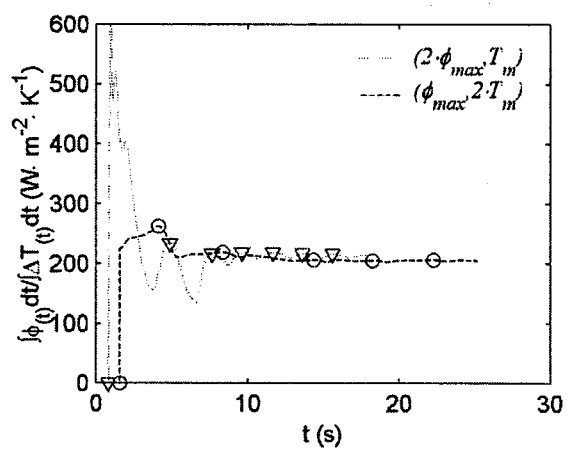


FIGURE 6

4/4

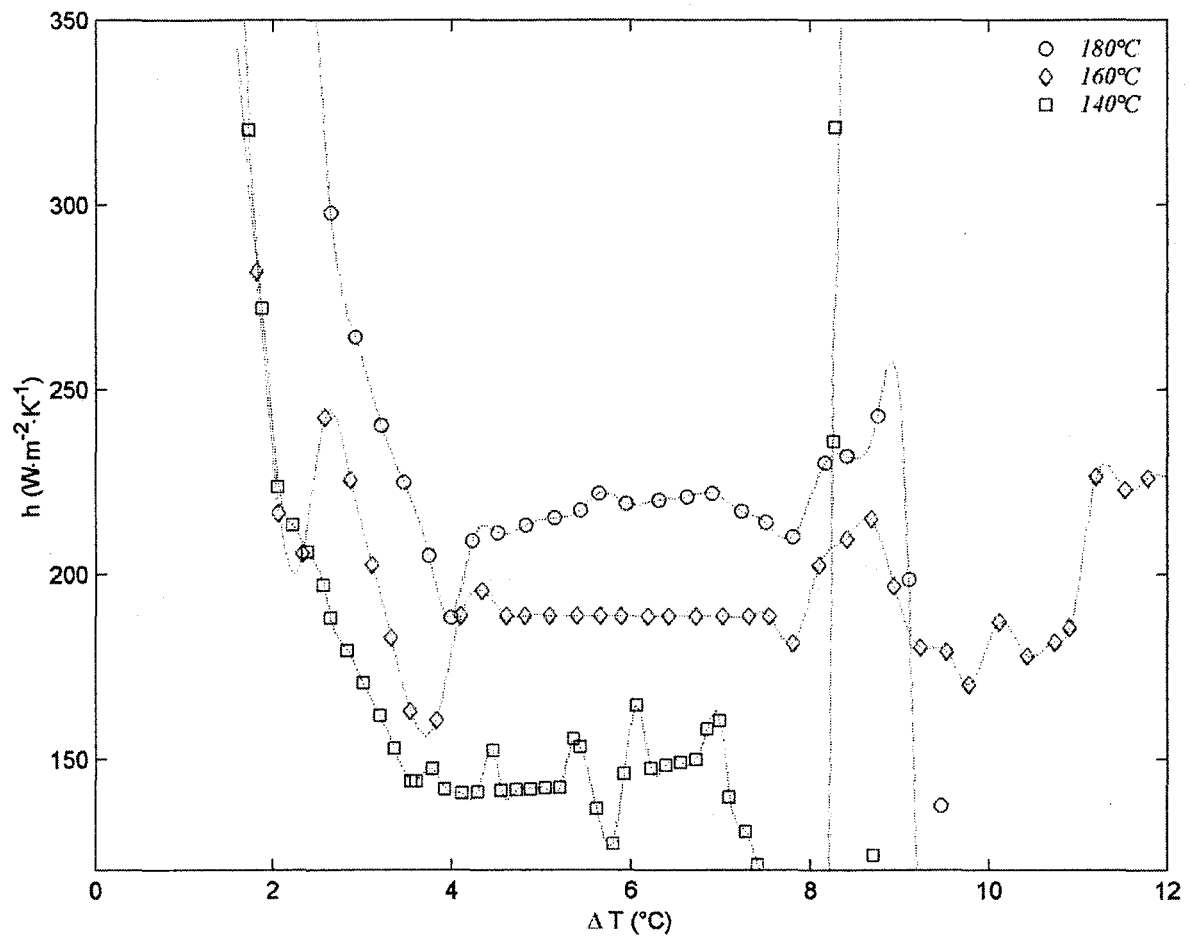


FIGURE 7

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

Après l'accomplissement de la procédure prévue par les textes rappelés ci-dessus, le brevet est délivré. L'Institut National de la Propriété Industrielle n'est pas habilité, sauf dans le cas d'absence **manifeste** de nouveauté, à en refuser la délivrance. La validité d'un brevet relève exclusivement de l'appréciation des tribunaux.

L'I.N.P.I. doit toutefois annexer à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention. Ce rapport porte sur les revendications figurant au brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- ☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☒ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n' étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION****Référence des documents**
(avec indication, le cas échéant, des parties pertinentes)**Revendications du
brevet concernées**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT
L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**US 4 106 331 A (BUNTON JOHN DARRAH ET AL)
15 août 1978 (1978-08-15)EP 0 325 441 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND)
26 juillet 1989 (1989-07-26)DE 29 39 053 A (HANSAG HOLDING AG)
3 juillet 1980 (1980-07-03)DE 196 49 510 A (KUEPPERSBUSCH)
4 juin 1998 (1998-06-04)DATABASE WPI
Section EI, Week 199102,
23 février 1990 (1990-02-23)
Derwent Publications Ltd., London, GB ;
Class S03, AN 1991-013895
XP002174244
& SU 1 545 148 A (INST TEKHN TEPLOFIZIKI AN USSR)DATABASE WPI
Section EI, Week 198108,
18 juin 1980 (1980-06-18)
Derwent Publications Ltd., London, GB ;
Class S03, AN 1981-B5970D
XP002174245
& SU 741 126 A (LE T I KHOLODILNOI PROM), 15 juin 1980 (1980-06-15)**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE
DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES****Référence des documents**
(avec indication, le cas échéant, des parties pertinentes)**Revendications du
brevet concernées**

NEANT